

## Oponentský posudek bakalářské práce

Mgr. Andrea Dagmar Pajdarová, Ph.D.

**Bělohoubek Marek:** *Simulace transportu rozprášených atomů v magnetronových výbojích*, Západočeská univerzita v Plzni, Katedra fyziky, Plzeň 2018.

Autor se v předkládané práci zabývá problematikou simulace transportu rozprášených atomů titanu z terče magnetronu na substrát, přičemž k této simulaci používá metodu Direct Simulation Monte Carlo. V této práci si klade následující cíle:

- Prostudovat literaturu týkající se magnetronového naprašování a numerické metody Direct Simulation Monte Carlo pro simulaci transportu částic za nízkých tlaků.
- Seznámit se s programem pro simulaci transportu částic v magnetronových výbojích vyvíjeném na KFY. Navrhnout simulaci rozprašování terče a transportu terčového materiálu na substrát v argonové atmosféře.
- Vypočítat podíl rozprášených atomů dopadajících na substrát a jejich rozdělovací funkci. Vyšetřit vliv tlaku, výbojového proudu a modelu interakcí mezi atomy na výsledky simulací. Diskutovat dosažené výsledky s ohledem na limity použitého fyzikálního modelu.

Předkládaná bakalářská práce má standardní strukturu. Autor nejprve v kapitole 2 s názvem „*Současný stav problematiky*“ prezentuje základní poznatky o metodách depozice tenkých vrstev, přičemž se zaměřuje hlavně na magnetronovou depozici. Poté popisuje problematiku interakce iontů s povrchy a interakci atomů plynu mezi sebou. Kapitulu zakončuje charakterizací modelů simulace transportu částic, kde se zaměřuje na metodu Direct Simulation Monte Carlo a její algoritmus.

V kapitole 4 s názvem „*Návrh modelu*“ autor popisuje geometrii simulační oblasti, metody a vztahy použité k charakterizaci interakce částic s povrchy a interakci částic při jejich vzájemných srážkách. Jsou zde popsány i parametry simulace. K této části mám jen dvě drobné připomínky: (1) u obrázku 9 jsou prohozeny popisy k elementům 2 a 3 geometrie simulační oblasti a (2) pravý diagram v obrázku 10 je vzhledem k válcové symetrii a neuvedení os  $x$  a  $y$  zbytečný.

Stěžejní částí bakalářské práce je kapitola 5 s názvem „*Výsledky a diskuze*“. Autor zde přehledně předkládá výsledky simulací, tj. rozdělovací funkce podle energie atomů Ti dopadlých na substrát, celkový tok atomů Ti na substrát, faktor zředění pracovního plynu (argonu) a mapy hustot atomů Ti a Ar v řezu simulační oblastí. Autor zde zkoumá vliv celkového tlaku pracovního plynu v simulační oblasti, velikosti simulovaného výbojového proudu, a to včetně jeho pulzního průběhu, užitého srážkového modelu a váhy simulačních částic. Tyto výsledky jsou zde i diskutovány. Zde bych chtěla autorovi vytknout malé popisky u obrázků 16 a 17, chybný popis k obrázku 13 (autor uvádí rozsah proudů jinak, než je uvedeno v legendě obrázku) a možnou zbytečnost obrázků 14 a 22 uvádějících pouze lineární závislost (především

užitečnost obrázku 22 je diskutabilní, protože je spojnici pouze dvou bodů pro danou váhu simulačních částic).

K předkládané práci mám následující komentáře a otázky:

1. Mohl byste porovnat Vámi vypočtený trend ve faktoru zředění argonu s výsledky přímého měření dostupného v literatuře, např. Rossnagel, J. Vac. Sci. Technol. A **6**, 19 (1988) či Vitelaru *et al*, Plasma Sources Sci. Technol. **21**, 025010 (2012)?
2. Na obr. 16 je oblast vysoké hustoty atomů titanu vyhnutá mírně doprava. Mohl byste ozřejmit tento efekt?
3. Největším limitem této simulační metody je nepřítomnost plazmatu. Mohl byste zhruba odhadnout, jaký dopad má toto omezení na prezentované výsledky z hlediska souladu s reálným výbojem?

Práce je psána srozumitelně a je dobře logicky uspořádána. Vyjadřování autora je na dobré vědecké úrovni. Závěrem lze konstatovat, že zvolené cíle bakalářské práce byly splněny. Velmi pozitivně hodnotím rozsah nových vědomostí, které musel autor při vypracování této bakalářské práce nastudovat a pochopit. Práci proto doporučuji k obhajobě a i přes uvedené výtky navrhuji hodnocení **výborně**.

V Plzni dne 17. 6. 2018

  
Mgr. Andrea Dagmar Pajdarová, Ph.D.